



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 40 957 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 04 L 7/027**

②① Aktenzeichen: 197 40 957.1  
②② Anmeldetag: 17. 9. 97  
②③ Offenlegungstag: 18. 3. 99

DE 197 40 957 A 1

⑦① Anmelder:  
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 80636 München, DE  
  
⑦② Vertreter:  
Henkel, Feiler & Hänzeler, 81675 München

⑦③ Erfinder:  
Wang, Zhi-Gong, Dr., 79224 Umkirch, DE; Thiede,  
Andreas, Dr., 79111 Freiburg, DE

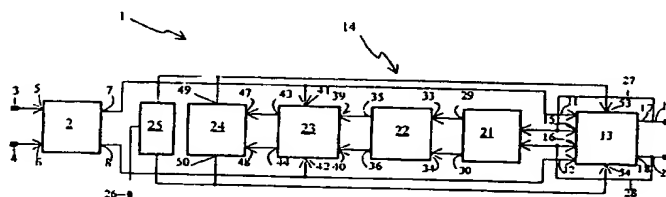
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
DE 43 38 873 C1  
DE 38 19 380 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein entsprechendes Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung mit einem Flankendetektor 2 und einem schmalbandigen regenerativen Frequenzteiler 13, der mehrere Resonanzkreise umfaßt. Dabei dient ein Phasenregelkreis 14 bzw. eine entsprechende Regelung der Phase des Frequenzteilers 13 zur Reduzierung einer Verstimmung der Resonanzkreise. Auf diese Weise wird die Phase des Signals am Ausgang des Frequenzteilers automatisch in die ideale Lage gebracht und in dieser gehalten.



DE 197 40 957 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Takt- und Trägerrückgewinnung mit einem Flankendetektor und einem schmalbandigen regenerativen Frequenzteiler, der mehrere Resonanzkreise umfaßt, und sie betrifft ebenso ein entsprechendes Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung.

Vorrichtungen und Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung werden insbesondere bei optischen Datenübertragungssystemen eingesetzt. Speziell bei Mikrowellen-Digital-Übertragungssystemen findet häufig die Trägerrückgewinnung Anwendung, um die auf der Phase des Trägers modulierten Daten zu demodulieren.

Zur Erzielung einer hohen Gesamtgüte ist von vornehmlicher Bedeutung, daß die Resonanzkreise des schmalbandigen regenerativen Frequenzteilers (NRFD: narrowband regenerative frequency divider) ideal bzgl. Frequenz und Phase abgestimmt werden und bleiben.

Aus der Patentschrift DE 43 38 873 ist eine Vorrichtung zur Takt- und Trägerrückgewinnung mit den eingangs beschriebenen Merkmalen bekannt. Diese Vorrichtung kann auch direkt zur Trägerrückgewinnung eingesetzt werden. Hierzu spielt hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Systems die statische und dynamische Phasenstabilität eine große Rolle. Die Grundbestandteile dieser bekannten Vorrichtung bilden der Flankendetektor und der NRFD. Der Flankendetektor ist kapazitätsbehaftet und mit einem Resonanzkreis belastet. Der NRFD besteht aus einem Mischer, mehreren in Reihe geschalteten Resonanzverstärkern und zwei Leitungen zur Rückkopplung. Mit dieser Vorrichtung ist eine hohe Gesamtgüte erreichbar, die im wesentlichen linear mit der Anzahl und Güte der einzelnen Resonanzverstärker zunimmt. Es treten jedoch Probleme auf, sobald die Resonanzkreise des NRFD verstimmt sind.

Im Idealfall ist die Mittenfrequenz des NRFD halb so hoch wie die Frequenz der Grundwelle des detektierten Taktsignals und die Phasenverzögerung, die durch die Resonanzverstärker des NRFD verursacht ist, gleich  $\pm 90^\circ$ . Um die gewünschte Mittenfrequenz und Phasenlage zu erhalten, müssen die Resonanzkreise im NRFD zu Beginn des Betriebs der Vorrichtung einmal abgestimmt werden. Nach dieser Abstimmung kann sich das Betriebsverhalten der Vorrichtung allerdings aufgrund von Temperaturschwankungen und Änderungen der Versorgungsspannung verschlechtern. Dies ist dann der Fall, wenn sich aus den genannten Gründen die Mittenfrequenz und/oder die Phasenverzögerung ändern/ändert. Damit wird letztlich die Gesamtgüte der Resonanzkreisanordnung kleiner und der Phasenjitter des Taktsignals am Ausgang größer.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung vorzuschlagen, bei der/dem die Phase des Signals am Ausgang des NRFD automatisch in die ideale Lage gebracht und in dieser gehalten wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in Anspruch 1 definierte Vorrichtung und durch das in Anspruch 7 definierte Verfahren gelöst. Bevorzugte Weiterentwicklungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen dargestellt.

Als vorteilhaft stellt sich bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung heraus, daß diese ohne zusätzliche Einstellung in einem wesentlich breiteren Band betrieben werden kann. Mit Hilfe der zusätzlichen Phasenregelfunktion wird die vorgeschlagene Vorrichtung und das entsprechende Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung stabiler und die negative Wirkung einer Verstimmung der Resonanzkreise im NRFD reduziert.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beispielhaf-

ten Figuren näher erläutert, in denen zeigen:

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Takt- und Trägerrückgewinnung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 ein Diagramm der relevanten Wellenformen der in Fig. 1 gezeigten Vorrichtung in einem idealen Zustand;

Fig. 3 ein Diagramm der entsprechenden Wellenformen in einem nicht-idealen Zustand;

Fig. 4 ein Schaltbild eines Schleifenfilters;

Fig. 5 ein Schaltbild einer Schaltung zur manuellen Abstimmung; und

Fig. 6 einen Schaltkreis eines differentiell angesteuerten Resonanzverstärkers.

Anhand von Fig. 1 wird nun eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung erläutert. Sie zeigt ein Blockschaltbild der Vorrichtung zur Takt- und Trägerrückgewinnung. Die Vorrichtung 1 zur Takt- und Trägerrückgewinnung weist einen Flankendetektor 2 und einen Phasenregelkreis 14 mit einem schmalbandigen regenerativen Frequenzteiler 13 auf. Der Phasenregelkreis 14 umfaßt einen Phasenschieber 21, einen Frequenzverdoppler 22, einen Phasendetektor 23 ein Schleifenfilter 24, unter Umständen eine von außen steuerbare Abstimmungsschaltung 25 und den genannten schmalbandigen regenerativen Frequenzteiler 13.

Die Eingangsklemmen 3 und 4 der Vorrichtung 1 zur Takt- und Trägerrückgewinnung sind mit den Eingängen der Flankendetektors 2 verbunden. Die Ausgänge des Flankendetektors 2 sind an erste Eingänge 11 und 12 des Frequenzteilers 13 angeschlossen. Die Ausgänge 17 und 18 des Frequenzteilers 13 sind mit den Ausgangsklemmen 1 und 2 der Vorrichtung 1 verbunden. Die Ausgangssignale des Frequenzteilers 13 an den Ausgängen 17 und 18 werden über Rückkopplungsleitungen 27 und 28 an Eingangsanschlüsse 15 und 16 des Frequenzteilers 13 rückgekoppelt. Die Anschlüsse 15 und 16 sind an die Eingänge des Phasenschiebers 21 gelegt, der das rückgekoppelte Signal um  $45^\circ$  verschiebt. Die Ausgänge 29 und 30 des Phasenschiebers 21 sind an die Eingänge 33 und 34 des Frequenzverdopplers 22 angeschlossen, in dem die Frequenz des rückgekoppelten Signals verdoppelt wird. Die Ausgänge 35 und 36 des Frequenzverdopplers 22 sind an ein erstes Eingangstor 39 und 40 des Phasendetektors 23 weitergeführt. An einem zweiten Eingangstor 41 und 42 des Phasendetektors 23 liegt das Ausgangssignal des Flankendetektors 2 an. Der Phasendetektor führt nun einen Vergleich der Phase des Signals am ersten Eingangstor 39 und 40 mit der Phase der Grundkomponente des detektierten Taktsignals am zweiten Eingangstor 41 und 42 durch und gibt die Phasendifferenz als Spannungssignal an einem Ausgangstor 43 und 44 aus. Dieses Ausgangstor 43 und 44 ist mit den Eingängen 47 und 48 des Schleifenfilters 24 verbunden. Die tiefen Frequenzen des dort empfangenen Spannungssignals werden selektiert und als Phasensteuersignal für den NRFD 13 benutzt. Deshalb sind die Ausgänge 49 und 50 des Schleifenfilters 24 an zweite Eingänge 53 und 54 des NRFD 13 angeschlossen. Ergänzend kann eine Abstimmungsschaltung 25 mit einer Eingangsklemme 26 vorgesehen sein, deren Ausgänge unmittelbar mit den Ausgängen 49 und 50 des Schleifenfilters verbunden sind.

In einem beispielhaft gewählten Idealzustand, wie in Fig. 2 gezeigt ist, ist die Mittenfrequenz des NRFD gleich der Hälfte der Grundkomponente 80 des detektierten Taktsignals, das an den Ausgängen 7 und 8 des Flankendetektors anliegt, und die Phasenverschiebung des halbierten Taktsignals 81 beträgt  $90^\circ$ . Das Ausgangssignal 82 des Phasenschiebers 21 besitzt dann eine Phasenverschiebung von  $135^\circ$ . Das Ausgangssignal 83 des Frequenzverdopplers hat eine Frequenz, die mit der der Grundkomponente überein-

stimmt, aber entsprechend eine Phasenverschiebung von  $270^\circ$ . In diesem Fall sind der Ausgangsgleichstrom 85 des Phasendetektors 23 und die Ausgangsspannung 86 des Schleifenfilters 24 gleich null. Dementsprechend findet auch keine Phasenverschiebung des NRFD 13 statt und sein momentaner Phasenzustand bleibt erhalten.

Wenn die Phasenverschiebung des NRFD wegen einer Änderung der Temperatur oder der Versorgungsspannung von den idealen  $\pm 90^\circ$  abweicht, sind die Ausgleichsspannungen des Phasendetektors 23 und des Schleifenfilters 24 jeweils von null verschieden. Hierzu zeigt Fig. 3 beispielhaft, daß eine positive Spannung 86' am Ausgang des Schleifenfilters 24 dann anliegt, wenn eine Phasenverschiebung des Taktsignals 81' höher als  $+90^\circ$  auftritt. Entsprechend liegt eine negative Spannung am Schleifenfilter 24 an, wenn die Phasenverschiebung unter  $+90^\circ$  liegt. Wird die Ausgangsspannung des Schleifenfilters 24 so gepolt, daß sie als Rückkopplungssignal für den NRFD 13 dessen Phasenänderung entgegenwirkt, so regelt sich die Phasenlage des NRFD 13 zu  $+90^\circ$ , und die Vorrichtung zur Takt- und Trägersrückgewinnung bleibt in der Nähe des Idealzustands. In ähnlicher Weise kann die ideale Phasenverschiebung beispielsweise auch auf  $-90^\circ$  festgelegt werden, was eine entsprechende Regelung nach sich zieht.

Die einzelnen Komponenten 21 bis 25 des Phasenregelkreises 14 können entsprechend den nachfolgenden Ausführungen realisiert werden.

Die Phasenverschiebung durch den Phasenschieber 21 um  $45^\circ$  kann durch die folgenden Schaltungen bzw. Effekte allein oder in Kombination erzielt werden:

- 1) die Verzögerungszeit des Frequenzverdopplers 22,
- 2) die Verzögerungszeiten zusätzlicher Stufen von Sourcefolgern und Differenzverstärkern und
- 3) zwei zusätzliche Verzögerungsleitungen.

Für den Frequenzverdoppler 22 kann eine ähnliche Schaltung wie der in der Patentschrift DE 43 38 873 beschriebene Flankendetektor benutzt werden. Anstatt eines Resonanzkreises können zwei Widerstände als Lasten des Exklusiv-Oder-Gatters im Frequenzverdoppler 22 eingesetzt werden, damit der Platzbedarf klein bleibt.

Der Phasendetektor 23 kann nach der Schaltung des in der obigen Patentschrift dargestellten Mischers aufgebaut werden. Die Lasten des Exklusiv-Oder-Gatters sollen dann statt mit dem Resonator direkt mit dem Schleifenfilter verbunden werden.

Fig. 4 zeigt ein Schaltbild einer möglichen Ausführungsform des Schleifenfilters 24. Das Schleifenfilter 24 kann demnach typischerweise aus zwei identischen passiven Lead-Lag-Filtern 55 und 56 bestehen. Das Filter 55 besteht aus einer Verbindung des einen Eingangs 4 und des einen Ausgangs 47 des Schleifenfilters 24, die zum einen über einen Widerstand 57 und zum anderen über eine Serienschaltung eines Widerstands 58 und eines Kondensators 59 an Masse gelegt ist. Dementsprechend besteht das Filter 56 aus einer Verbindung des anderen Eingangs 5 und des anderen Ausgangs 47 des Schleifenfilters 24, die zum einen über einen Widerstand 57' und zum anderen über eine Serienschaltung eines Widerstands 58' und eines Kondensators 59' an Masse gelegt ist. Die zwei Zeitkonstanten des Filters 55 sind durch die Kapazität 59 und die Widerstände 57 sowie 58 bestimmt. Das Entsprechende gilt für das Filter 56. Die Widerstände 57 und 57' in den jeweiligen Filtern 55 und 56 bieten gleichzeitig zwei Gleichstromwege für den Phasendetektor 23 und können als Lastwiderstände einer Abstimmungsschaltung 25 dienen.

In der Regel kann der ideale Operationszustand der Vor-

richtung 1 zu Beginn des Betriebs nicht vorhergesehen werden. Somit ist nach Betriebsbeginn eine Abstimmung der Vorrichtung notwendig. Mit der in der Patentschrift DE 43 38 873 beschriebenen Vorrichtung kann die Abstimmung der Frequenz und der Phase nur von außen durchgeführt werden. Mit dem erfindungsgemäßen Phasenregelkreis 14 ist es zwar möglich, daß die Vorrichtung ohne zusätzliche Einstellung in einem sehr weiten Regelbereich betrieben wird, es kann aber dennoch zusätzliche eine von außen steuerbare Schaltung zur manuellen Abstimmung vorgesehen werden.

Fig. 5 zeigt ein bevorzugtes Beispiel eines Schaltkreises der als Abstimmungsschaltung 25 zur manuellen Abstimmung verwendet werden kann. Ein erster Widerstand 61 ist zum einen an Masse angelegt und zum anderen an die Anode einer ersten Diode 63, die mit einer zweiten Diode 65 in Serie geschaltet ist, angeschlossen. Die Kathode der zweiten Diode 65 ist mit dem Drain eines ersten Transistors 67 verbunden, dessen Gate und Source kurzgeschlossen sind. Die Kathode der zweiten Diode 65 ist mit dem Gate eines zweiten Transistors 69 verbunden, dessen Source am Drain eines dritten Transistors 73 liegt. Source und Gate des dritten Transistors 73 sind wiederum kurzgeschlossen und mit einer Versorgungsspannungsleitung 72 verbunden. Symmetrisch zu dieser Anordnung ist die zweite Hälfte der Abstimmungsschaltung 25 aufgebaut. Dementsprechend ist ein zweiter Widerstand 62 zum einen an die Masse angelegt und zum anderen an die Anode einer dritten Diode 64, die mit einer vierten Diode 66 in Serie geschaltet ist, angeschlossen. Die Kathode der vierten Diode 66 ist mit dem Drain eines vierten Transistors 68 verbunden, dessen Gate und Source kurzgeschlossen sind. Die Kathode der vierten Diode 66 ist mit dem Gate eines fünften Transistors 70 verbunden, dessen Source am Drain eines sechsten Transistors 74 liegt. Source und Gate des sechsten Transistors 74 sind wiederum kurzgeschlossen und mit der Versorgungsspannungsleitung 72 verbunden. Die beiden Symmetriehälften der Schaltung sind über die gemeinsame Masse 60 und über die Leitung 72 gekoppelt. Darüberhinaus verbindet ein Widerstand 71 die Sources des zweiten und fünften Transistors. Der Eingangsanschluß 26 der Abstimmungsschaltung 25 liegt an der Anode der ersten Diode 63. Die Ausgänge 49 und 50 sind an das jeweilige Drain des zweiten und fünften Transistors 69 und 70 angeschlossen.

Diese in Fig. 5 gezeigte Schaltung hat nun die folgende Funktionsweise. Der Widerstand 61, die Dioden 63 und 65 sowie der Transistor 67 auf der linken Seite der Figur und der Widerstand 62, die Dioden 64 und 66 sowie der Transistor 68 auf der rechten Seite werden benutzt, um bei freilaufendem Eingang 26 zwei identische Referenzspannungen an den Gates der Transistoren 69 und 70 zu erzeugen. Darüberhinaus werden die Transistoren 67 und 68 als Stromquellen verwendet. Am Anschluß 26 kann nun eine Spannung von außen angelegt werden, um die Gatespannung des Transistors 69 bezüglich derjenigen des Transistors 70 positiv oder negativ einzustellen. Die Transistoren 69 und 70 des Anreicherungsstyps, der Widerstand 71 sowie die Transistoren 73 und 74 des Verarmungsstyps bilden einen Differenzverstärker. Der Widerstand 71 dient der Verbreiterung des linearen Ansteuerbereichs, und die Transistoren 73 und 74 werden als Stromquellen verwendet. An den Sourceanschlüssen der Transistoren 69 und 70 werden zwei Ströme erzeugt, deren Größe durch die am Anschluß 26 anzulegende Spannung im Gegentakt geändert werden kann. Diese Ströme addieren sich mit den dynamischen Ausgangsströmen des Phasendetektors 23 in den Widerständen 57 und 57' des Schleifenfilters 24 von Fig. 4 und erzeugen so die Ansteuerspannungen des Frequenzteilers 13.

Als Resonanzverstärker des NRFD 13 kann die in Fig. 4 der Patentschrift DE 43 34 873 gezeigte Schaltung verwendet werden. Es kann aber auch der in Fig. 6. gezeigte Schaltkreis als differentiell angesteuerter Resonanzverstärker verwendet werden. Dieser weist einen an sich bekannten Resonanzverstärker 90 mit Differenz-Feldeffekttransistoren 91 und 92 auf, deren Gate jeweils mit einem Differenzeingang 93, 94 verbunden ist. Mit dem Resonanzverstärker 90 in Reihe geschaltet ist ein Feldeffekttransistor 95 des Anreicherungstyps, der mit seinem Drain mit einem ersten Anschluß 96 des Resonanzverstärkers 90 und mit seinem Source über einen Gegenkopplungswiderstand 97 mit einer Versorgungsspannungsleitung 98 verbunden ist. Das Gate des Feldeffekttransistors 95 ist mit einem Steuereingang 99 für die Kreisverstärkung verbunden. Ein zweiter Anschluß 100 des Resonanzverstärkers 90 ist mit dem Source eines Feldeffekttransistors 101 des Anreicherungstyps verbunden. Das Drain dieses Feldeffekttransistors ist mit einer Masseleitung 102 und das Gate mit einem Steuereingang 103 für die Resonatorfrequenz verbunden.

Der differentiell angesteuerte Resonanzverstärker weist außerdem einen an sich bekannten differentiellen Ausgangsschaltkreis 104 mit zwei Feldeffekttransistoren 105 und 106 auf, deren Drains mit dem Source eines Feldeffekttransistors 107 des Verarmungstyps verbunden sind. Das Drain dieses Feldeffekttransistors 107 ist mit der Masseleitung 102 und das Gate mit einem Steuereingang 108 für die Resonanzfrequenz verbunden. Der Einsatz von Transistoren des Verarmungs- bzw. Anreicherungstyps für die Feldeffekttransistoren 101 und 107 gewährleistet, daß im Nullpunkt der differentiellen Ansteuerung der Spannungspegel an den Gates der Feldeffekttransistoren 105 und 106 tiefer ist als an deren Drains.

Der Vorteil dieses geschilderten differentiell angesteuerten Resonanzverstärkers gegenüber dem in der Patentschrift DE 43 34 873 aufgeführten Resonanzverstärker liegt darin, daß durch den Einsatz der Feldeffekttransistoren 101 und 107 vom Anreicherungs- und Verarmungstyp und durch eine differentiell gesteuerte Gate-Drain-Sperrschichtkapazität der Transistoren 105 und 106 verändert werden können. Diese differentiell gesteuerte Ansteuerung durch der Abstimmungsschaltung 25 weist drei Vorteile auf:

- 1) der Abstimmungsbereich wird größer,
- 2) der Schleifengewinn der Phasenübertragung wird größer, und
- 3) die gesamte Schaltung wird stärker balanciert.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Takt- und Trägerrückgewinnung (1) mit einem Flankendetektor (2) und einem schmalbandigen regenerativen Frequenzteiler (13), der mehrere Resonanzkreise umfaßt, **gekennzeichnet durch** einen Phasenregelkreis (14) zur Reduzierung einer Verstimmung der Resonanzkreise im Frequenzteiler (13).
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei der Phasenregelkreis (14) einen Phasenschieber (21), einen Frequenzverdoppler (22), einen Phasendetektor (23), einen Schleifenfilter (24) und den schmalbandigen Frequenzteiler (13) umfaßt.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Funktion einer Phasenverschiebung des Phasenschiebers (21) mit der Verzögerungszeit des Frequenzverdopplers (22), den Verzögerungszeiten zusätzlicher Stufen von Sourcefolgern und Differenzverstärkern, zwei zusätzlichen Verzögerungsleitungen oder Kombinationen da-

von realisiert werden kann.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei die Phasenverschiebung  $45^\circ$  beträgt.
5. Vorrichtung nach Anspruch 2, 3 oder 4, wobei das Schleifenfilter (24) zwei identisch aufgebaute Filtereinheiten (55 und 56) umfaßt.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die beiden Filtereinheiten (55 und 56) aus Lead-Log-Filtern bestehen.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei zusätzlich eine Abstimmereinrichtung (25) vorgesehen ist, um die Gleichspannungsanteile von Ansteuerungen des NRFD (13) einstellen zu können.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die Abstimmereinrichtung (25) von außen mit einer Spannung ansteuerbar ist.
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei in mindestens einem der Resonanzkreise einer oder mehrere Feldeffekttransistoren vom Verarmungs- und/oder Anreicherungstyp vorgesehen sind, um eine differentielle Ansteuerung zu realisieren.
10. Verfahren zur Takt- und Trägerrückgewinnung mit einem Flankendetektor (2) und einem schmalbandigen regenerativen Frequenzteiler (13), der mehrere Resonanzkreise umfaßt, gekennzeichnet durch Regeln der Phase des Frequenzteilers (13) zur Reduzierung einer Verstimmung der Resonanzkreise.

---

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

---

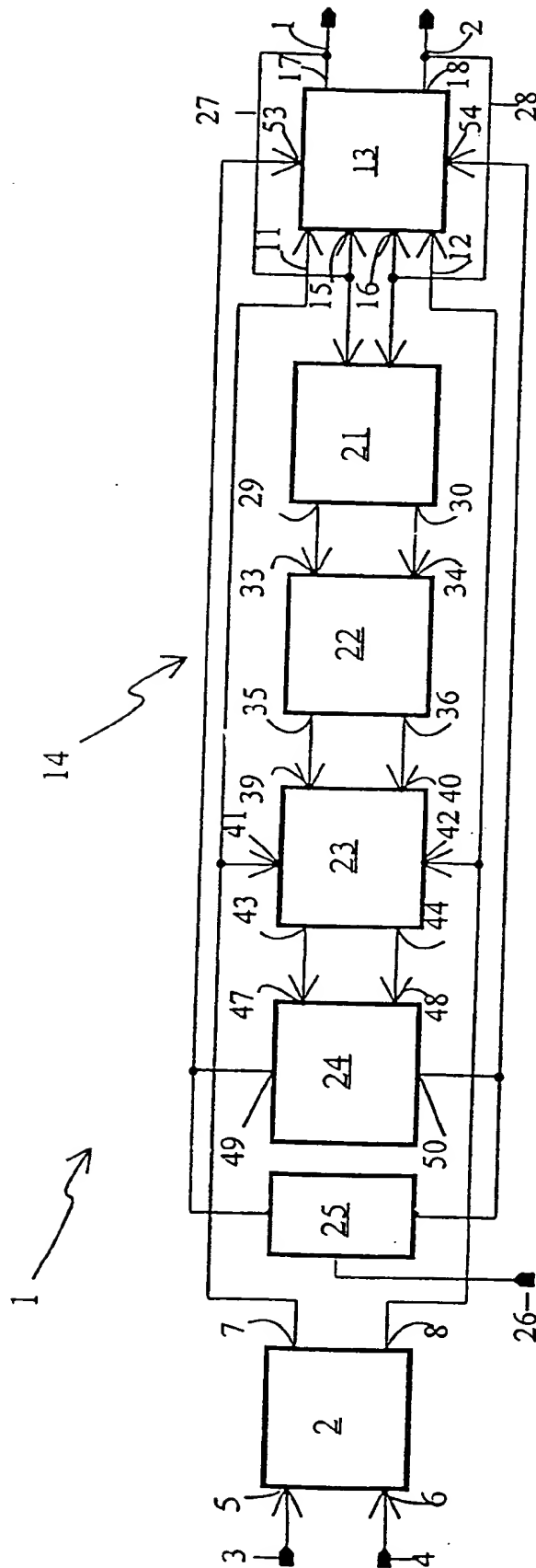


Fig. 1

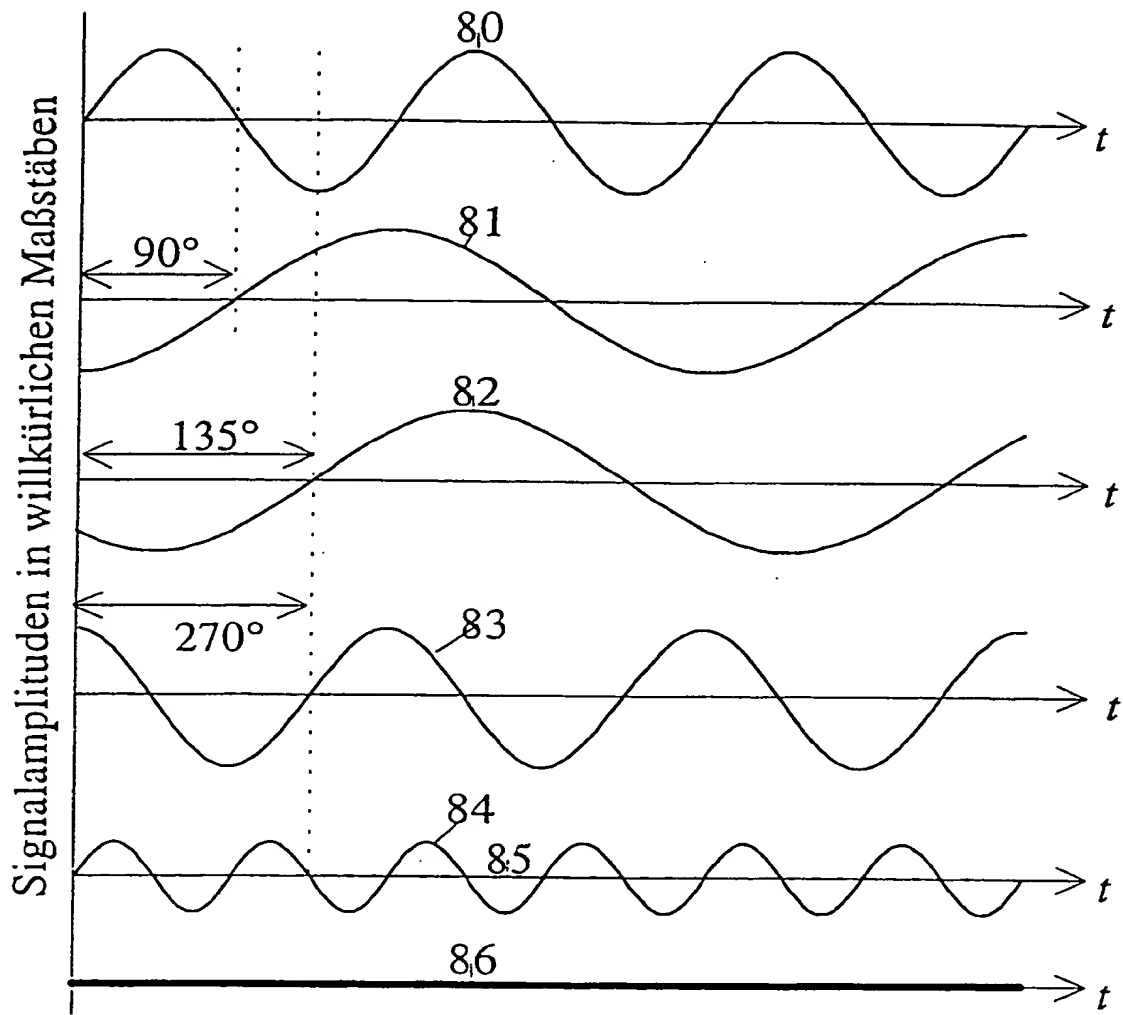


Fig. 2

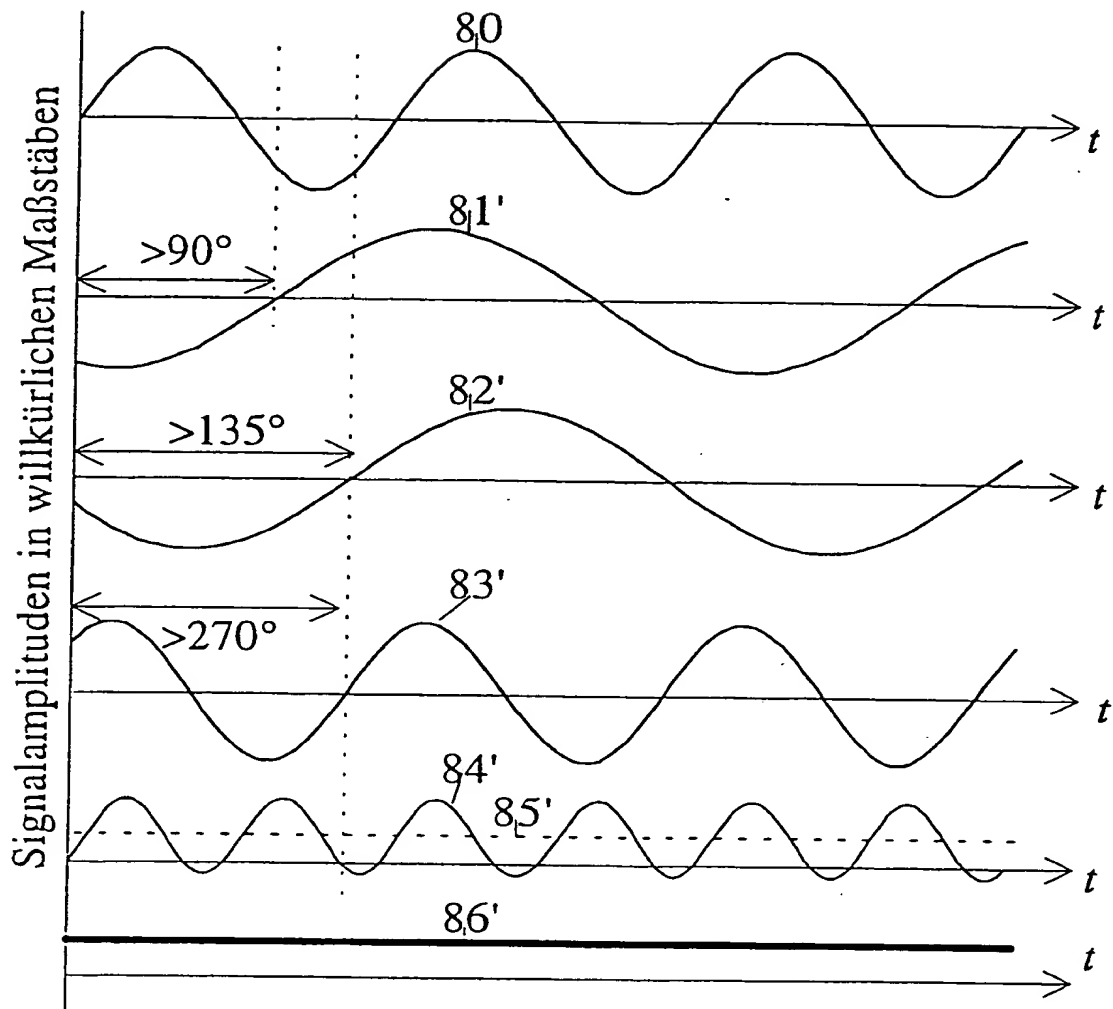


Fig. 3

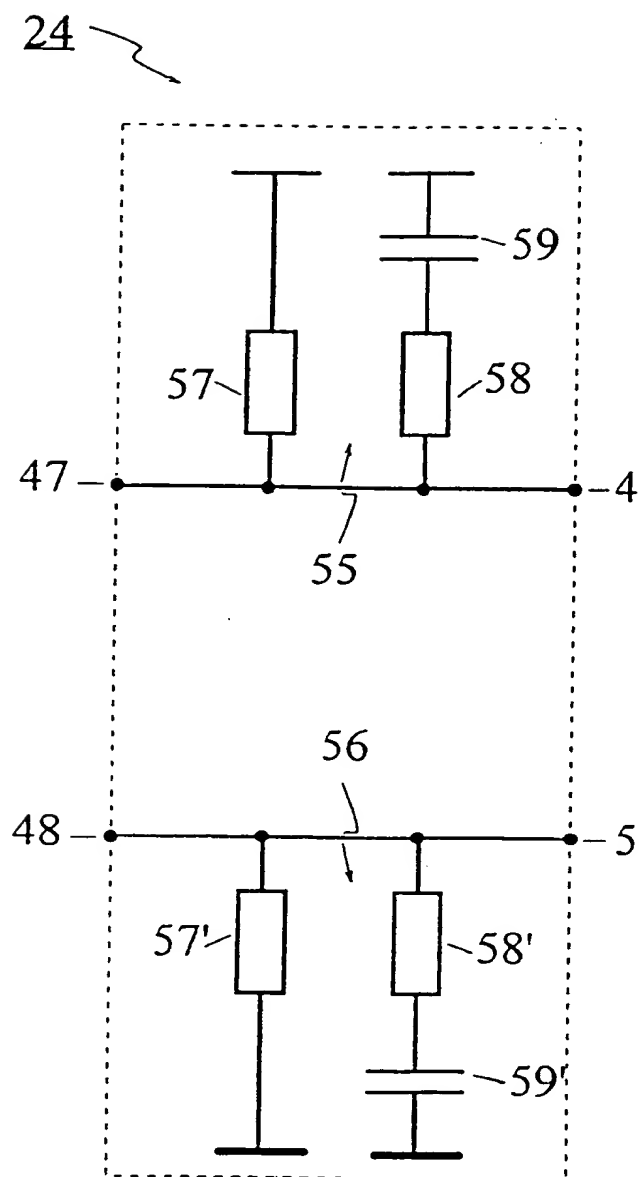


Fig. 4



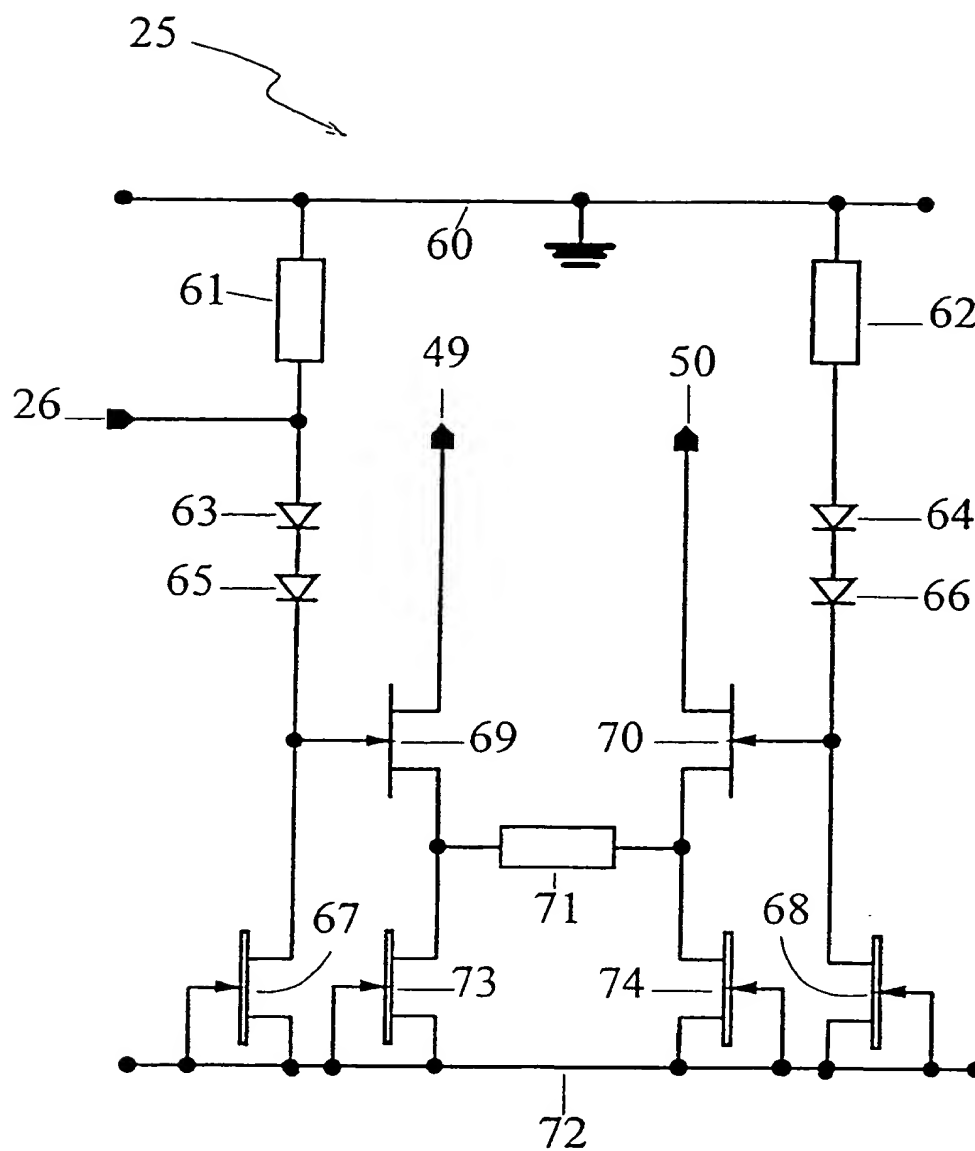


Fig. 5

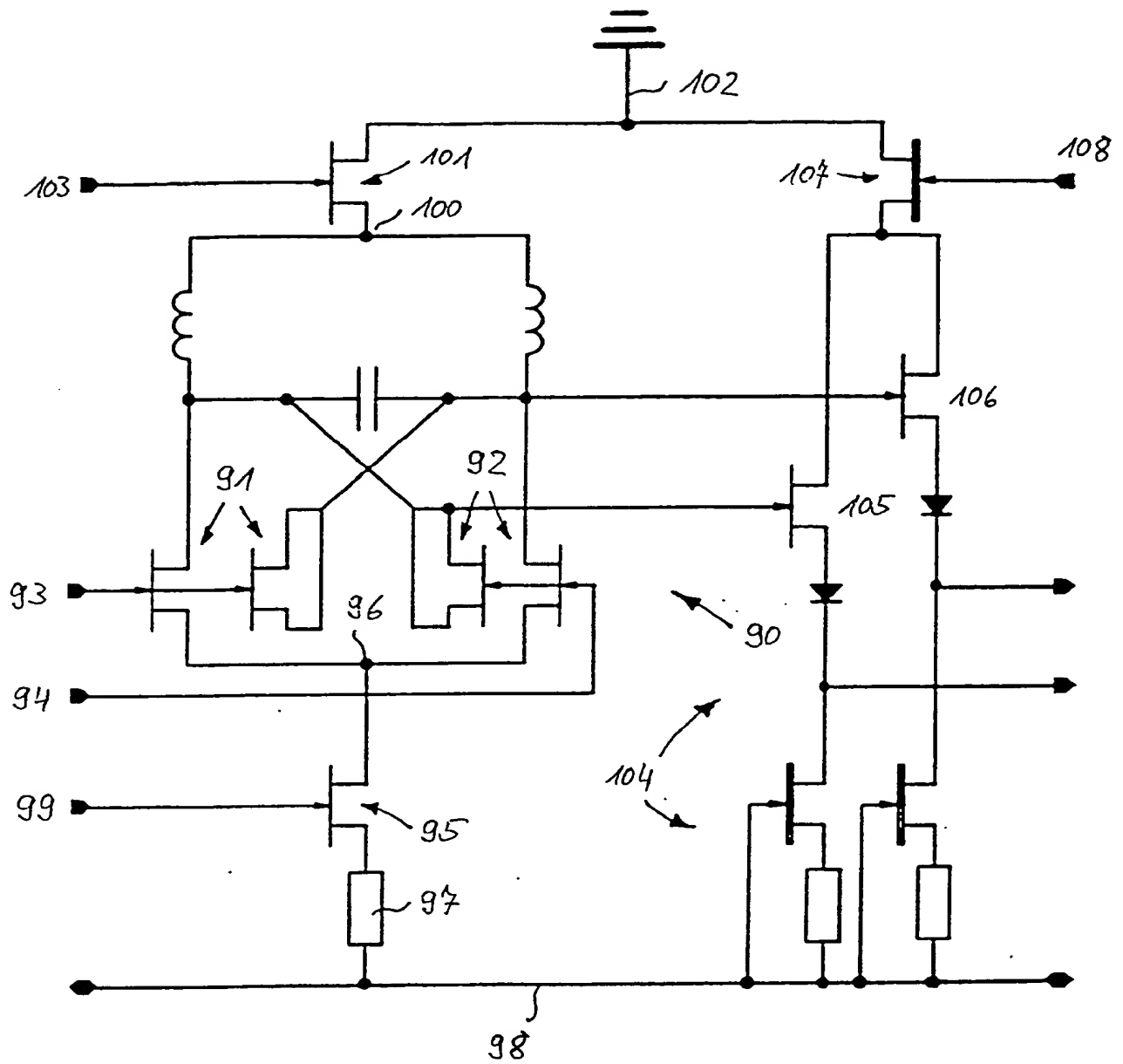


Fig. 6